

УДК 637.876:551.51

ПАССИВНОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ КОЭФФИЦИЕНТА ПРЕЛОМЛЕНИЯ РАДИОВОЛН В ТРОПОСФЕРЕ СЕТЬЮ ПРИЁМНИКОВ СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ В Г. КАЗАНИ

О. Г. Хуторова, Г. М. Тептин, А. А. Васильев, В. Е. Хуторов, А. П. Шлячков
Казанский (Прикамский) федеральный университет, г. Казань, Россия

В работе представлены результаты экспериментального исследования структуры индекса рефракции радиоволн и её динамики сетью из семи наземных приёмников систем GPS и ГЛОНАСС, расположенных в г. Казани. Показано, что результаты дистанционного зондирования хорошо согласуются с данными метеостанции, радиозондирования и радиалекса. Среднеквадратичное отклонение значений индекса рефракции, полученных по результатам пассивного зондирования, от радиозондовых данных составило 2 % от среднего значения на высоте до 500 м. Обнаружено, что структура индекса рефракции имеет как межсуточные вариации, так и мезомасштабную пространственную и временную изменчивость.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время актуальны задачи развития средств всепогодного зондирования атмосферы. В связи с этим несомненный интерес представляют широкие возможности применения радиосигналов глобальных сетей позиционирования GPS и ГЛОНАСС. В США, Японии и Западной Европе достаточно много исследований посвящено измерениям вариаций трёхмерных распределений содержания водяного пара в тропосфере с помощью наземных приёмников GPS (см., например, [1–5]). Показано, что данные приёмников GPS — инструмент исследования тропосферы с большим временным разрешением [5]; пространственное разрешение зависит от плотности расположения приёмников. В России глобальные навигационные спутниковые системы используются для томографии ионосферы или стратосферы [6–8], но мало работ по использованию спутниковых навигационных систем для исследования тропосферы, особенно пограничного слоя. Можно отметить работы [9–11], которые подробно освещают методические вопросы радиозондирования тропосферных параметров на основании рефрактометрии. Однако экспериментальных результатов зондирования тропосферы с помощью наземных приёмников глобальных навигационных спутниковых систем в России пока не было.

Цель данной работы состоит в том, чтобы представить экспериментальные результаты пассивного зондирования структуры индекса рефракции радиоволн в тропосфере с помощью системы наземных приёмников GPS и ГЛОНАСС, расположенных в пространстве.

Спутники глобальных навигационных систем излучают радиосигналы на длинах волн 19 и 24 см, что обеспечивает всепогодный приём на поверхности Земли. Сигналы глобальных навигационных спутниковых систем зависят от коэффициента преломления радиоволн в атмосфере. Основной характеристикой атмосферы как среды распространения является индекс рефракции. Обычно используют следующее выражение, связывающее индекс рефракции N и коэффициент преломления n радиоволн с параметрами атмосферы и частотой:

$$N = (n - 1) \cdot 10^6 = 77,46p[\text{мбар}]/T[\text{K}] + 3,73 \cdot 10^5 e[\text{мбар}]/(T[\text{K}])^2 + 4,03 \cdot 10^7 N_s[\text{м}^{-3}]/(f^2), \quad (1)$$

где первое слагаемое определяется влиянием неволирных газов, а второе — водяным паром, p и T — давление и температура воздуха соответственно, e — парциальное давление паров воды,